UNIVERSO

El Sistema Solar

5



UNIVERSO
El Sistema Solar

Edita: RBA Editores, S.A.
Barcelona

Fascículo 5 - Tomo I

Redacción y Administración:
Pérez Galdós, 36
08012 BARCELONA
Telf. (93) 415 73 74

UNIVERSO consta de 23 fascículos y 23 vídeos de aparición quincenal, encuadernables en dos volúmenes: "El sistema solar" (fascículos 1 a 13) y "El espacio en los próximos cien años" (fascículos 14 a 23). Las tapas para su encuadernación se pondrán a la venta a lo largo de la publicación.

El editor se reserva el derecho de modificar el precio de venta de los componentes de la colección en el transcurso de la misma, si las circunstancias del mercado así lo exigieran.

RBA Editores garantiza la publicación de todos los fascículos que componen esta obra.

ISBN Tomo I: 84-473-0101-X
ISBN Obra completa:
84-473-0100-1
Depósito Legal: B.31.085-1992

Impresión: CAYFOSA.
Ctra. de Caldes, km. 3
Sta Perpètua de Mogoda
(Barcelona)
Impreso en España - Printed in Spain - 1992

Distribuye para España: Marco Ibérica, Distribución de Ediciones, S.A. Ctra. de Irún, km. 13,350
(Variante de Fuencarral)
28034 MADRID

Pida a su proveedor habitual que le reserve un ejemplar de UNIVERSO. Al comprar la obra cada semana en el mismo kiosco nos permite la distribución a los puntos de venta con mayor precisión, y usted conseguirá un servicio más rápido y eficaz.

LA MÁQUINA SOLAR

Aunque los científicos habían avanzado en el conocimiento de la mecánica celeste, sus descubrimientos sobre el astro más destacado, el propio Sol, eran muy escasos. ¿Cómo podrían comprender desde la Tierra el funcionamiento de la potente máquina solar, situada a 150 millones de kilómetros de distancia? Los astrónomos de principios del siglo XIX sabían poco más sobre la estructura física y la dinámica del astro que sus colegas de la Edad del Bronce que habían erigido las piedras de Stonehenge. La falta de datos propició la aparición de teorías muy variadas. En 1795, sir William Herschel, descubridor de Urano, sostenía que el Sol era un cuerpo sólido y oscuro envuelto en nubes luminosas, cuyas regiones frías estaban habitadas por seres «adaptados a las circunstancias peculiares de ese inmenso globo».

Sin embargo, los misterios del Sol comenzaron pronto a desvanecerse gracias a las continuas observaciones y a los nuevos descubrimientos de la química y la física. Se comprendió que el Sol influía sobre la vida terrestre de forma más directa y de muchas más maneras de lo que se había creído hasta entonces. Hoy en día, la ciencia admite que el Sol es una estrella de tamaño medio y gran complejidad, constituida fundamentalmente de hidrógeno y helio y alimentada por un horno termonuclear. En las zonas más internas, los núcleos de hidrógeno se transforman en núcleos de helio debido a la elevadísima presión de la masa solar. La energía liberada en el curso de dicha fusión asciende lentamente hasta la agitada superficie del astro, desde donde se propaga a la velocidad de la luz. Las súbitas ráfagas de viento solar (poderosa corriente de partículas que fluye por el espacio y rodea a la Tierra igual que una isla situada en medio de un río), desencadenan tormentas geomagnéticas que iluminan el cielo y causan desastres en el suministro de energía y en los sistemas de comunicación de todo el planeta.

La concepción del Sol como astro dinámico tiene sus orígenes en la obra de Samuel Heinrich Schwabe, farmacéutico alemán que en 1826 decidió dedicarse a la astronomía. Inicialmente intentaba hallar un hipotético nuevo planeta que podía encontrarse en una órbita cercana al Sol; pero pronto abandonó esta búsqueda para concentrarse en el estudio de las manchas solares, esas máculas oscuras en la superficie del Sol que habían desconcertado a los astrónomos desde que fueran descubiertas siglos antes.

Igual que con el modelo copernicano del sistema solar, el descubrimiento de las manchas solares había provocado molestas consecuencias. En efecto, tenían aspecto de imperfecciones, pero, en aquel entonces, todo astrónomo que las considerara como tales se arriesgaba a la censura eclesiástica al desafiar el dogma según el cual el Sol era símbolo de perfección. A uno de los descubridores de las manchas, el jesuita y matemático alemán Christoph

Fotografía, tratada por ordenador, de un eclipse total de Sol. La esfera negra de la Luna que oculta completamente el disco solar está rodeada por el deslumbrante halo producido por la corona. Los distintos colores indican la intensidad de la luz: el blanco representa la más elevada, el violeta oscuro, la más baja.



Dibujo de una mancha solar que aparece como un orificio de bordes irregulares. Fue realizado en 1873 por el astrofísico Samuel Langley. El científico es autor de una serie de dibujos de manchas solares (fruto de cuidadosas observaciones telescópicas) que, en su época, eran consideradas las imágenes más detalladas de este fenómeno tan extraño en aquel entonces.

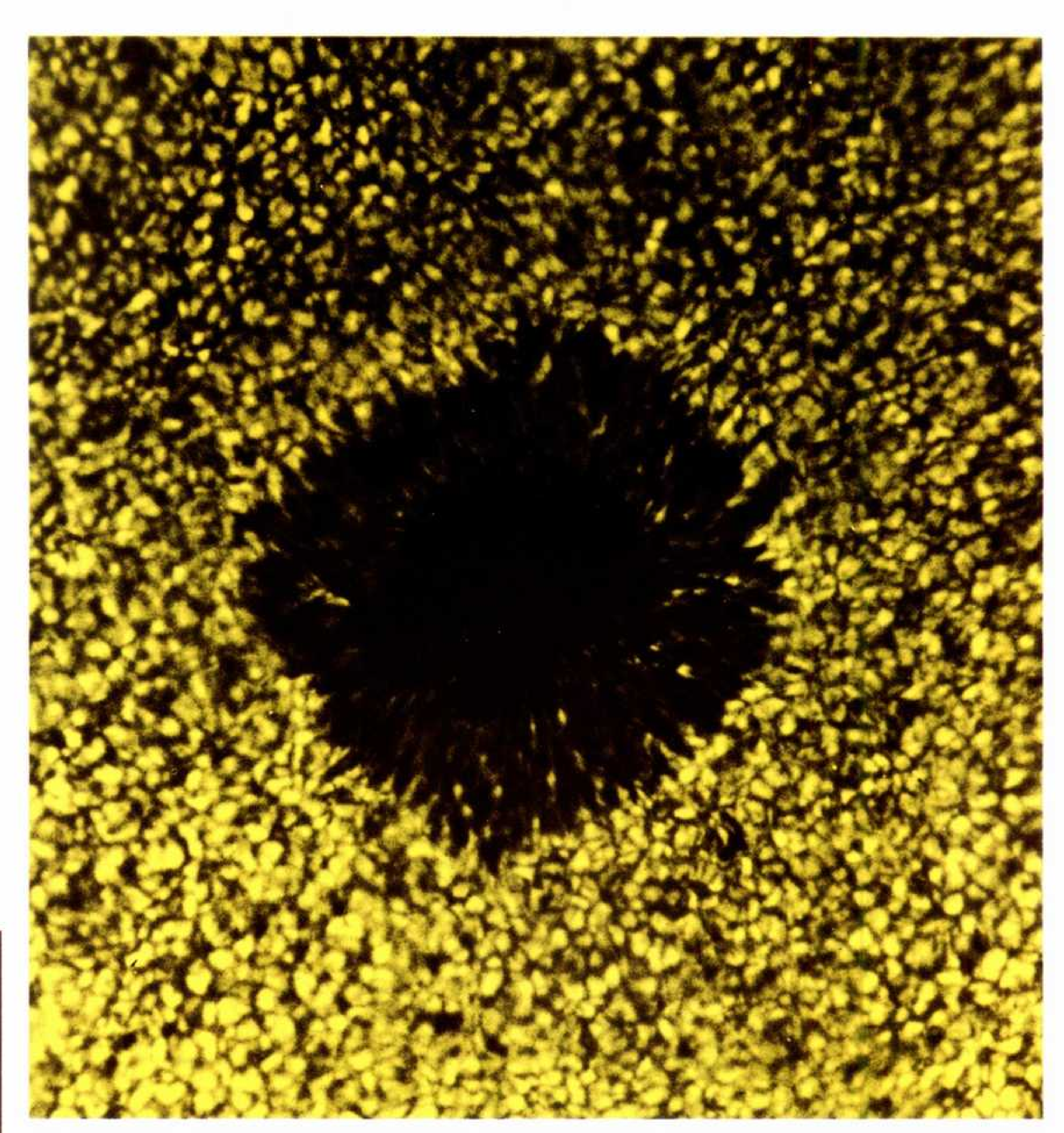
Scheiner, sus superiores eclesiásticos le impidieron publicar el hallazgo con su propio nombre; Galileo, por su parte, movido por el prudente temor a la reacción de la Iglesia, decidió aplazar el anuncio de la novedad.

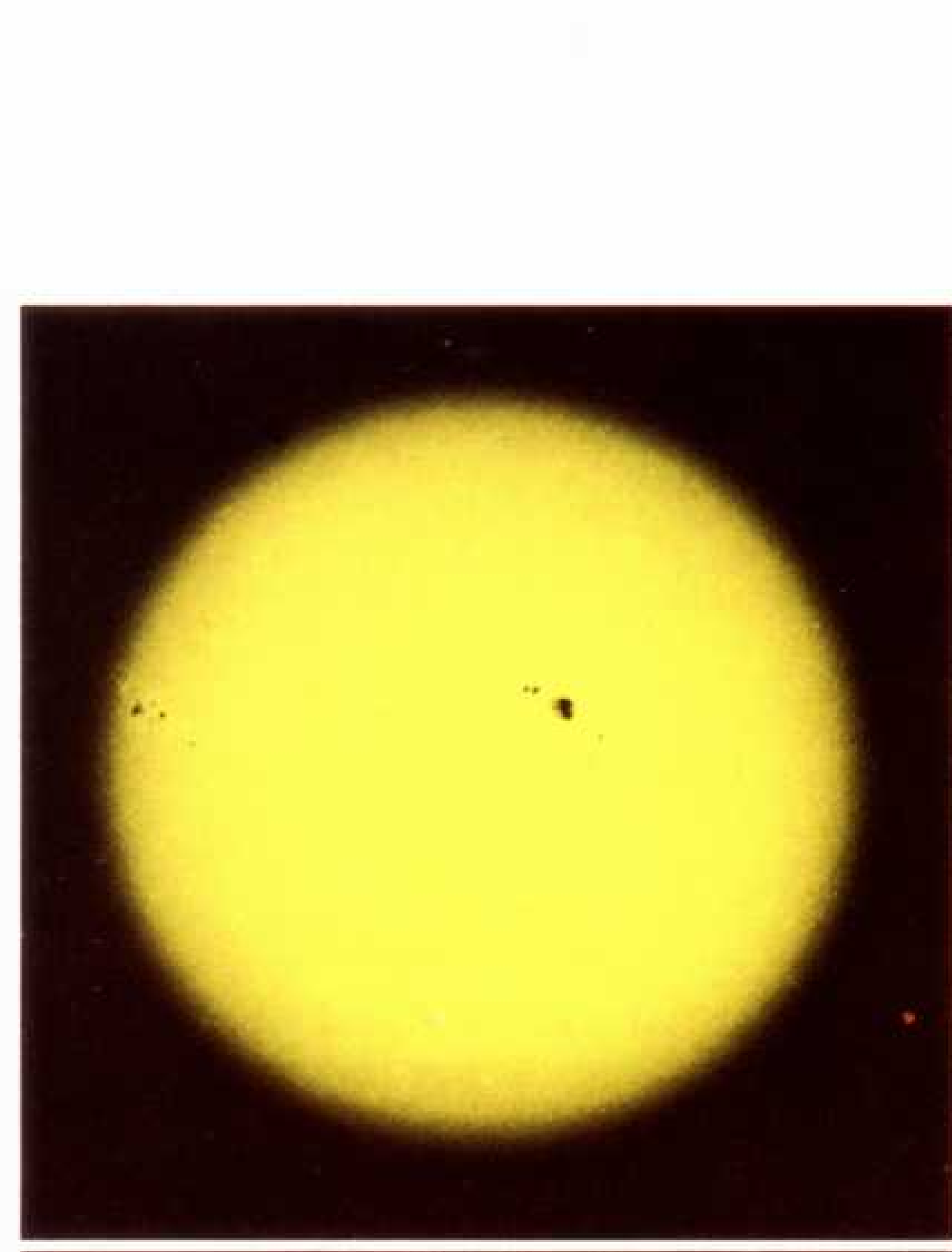
Pero las manchas resultaron ser estupendos objetos de estudio y especulación. Mediante un telescopio se proyectaba la imagen del Sol en una pantalla y diariamente se seguía la evolución de las manchas que danzaban por la superficie, cambiaban de tamaño y de forma, y se unían en racimos para luego dispersarse y reagruparse en largas cadenas. Tales movimientos permitieron a Galileo deducir que el Sol gira sobre sí mismo igual que la Tierra. Otros observadores expusieron diversas teorías para explicar el curioso comportamiento de las manchas. Algunos opinaban que eran nubes flotando sobre la superficie solar. Hubo quien afirmó que eran capas de escoria procedente de erupciones volcánicas, o montañas que flotaban sobre un océano fundido. Para Herschel consistían en orificios de la envoltura nubosa que le permitían ver la sólida superficie subyacente.

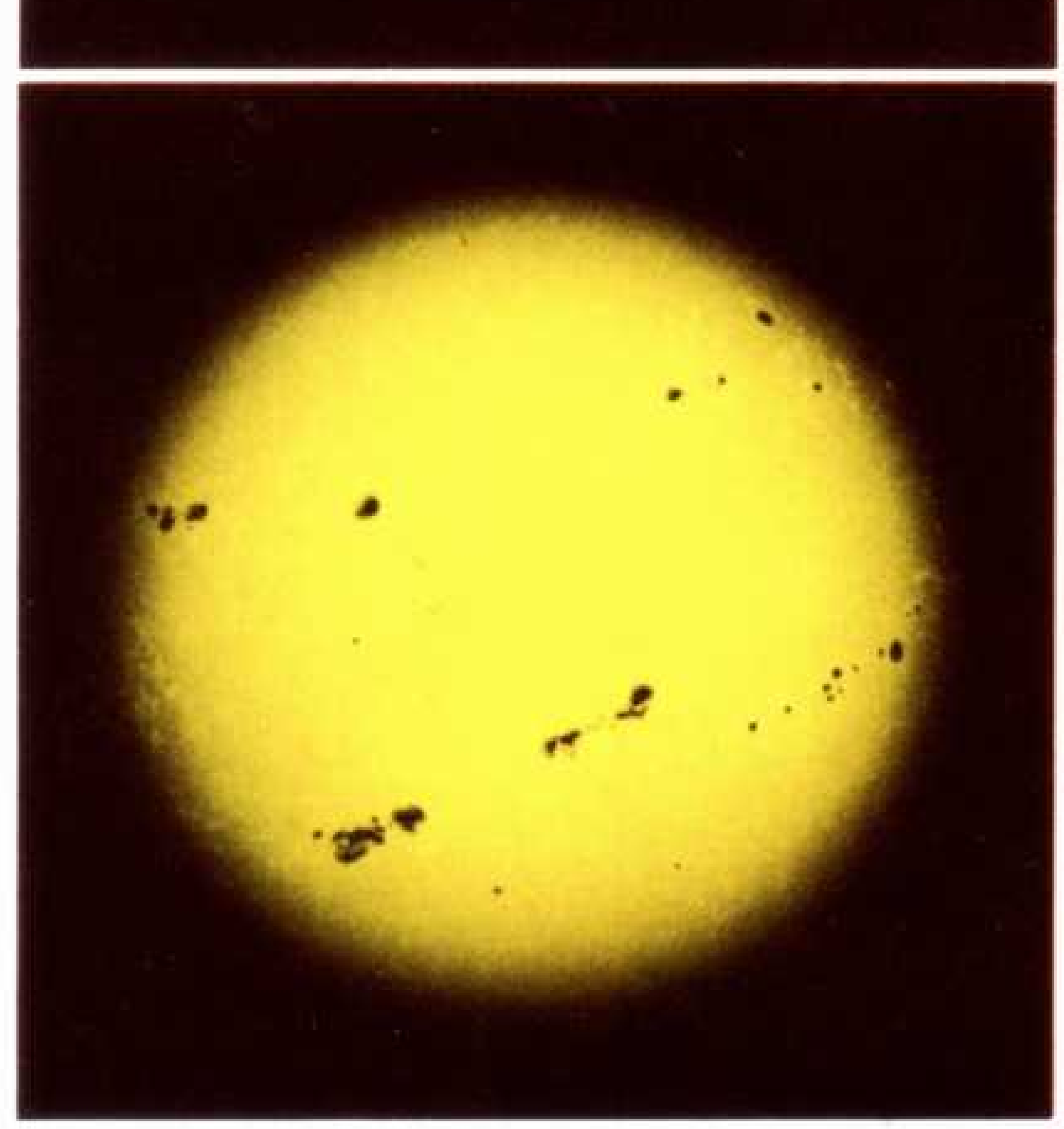
Quizá lo más extraño de todo era que las manchas crecían y se reducían durante largos períodos. Entre 1645 y 1715, habían desaparecido casi por completo de la superficie solar; posteriormente, los investigadores relacionarían esta ausencia con el prolongado cambio de clima llamado «pequeña edad del hielo». En esos 70 años, las temperaturas medias de Europa bajaron 1 ºC en relación con épocas anteriores y posteriores.

Igual que sus predecesores, Schwabe había observado la variabilidad de las manchas; pero él fue algo más lejos al demostrar que dichos cambios seguían unos ciclos. Hombre muy metódico, durante 17 años observó el Sol casi todos los días en que éste lucía, y llegó a un máximo de 312

Una mancha solar oscura en el centro y rodeada de un borde más claro, envuelta a su vez por gránulos de forma celular que cubren la superficie del astro. La fotografía fue obtenida mediante un telescopio de alta resolución. Pese a que el tamaño y luminosidad de la mancha no causan mayor impresión, su diámetro era el doble del terrestre, y su brillo diez veces superior al de la Luna llena.







Las manchas solares aumentan y se reducen en ciclos de once años. Al comienzo, la superficie suele presentar apenas algunas manchas (*arriba*). La máxima actividad (*abajo*) se registra al cabo de cinco años y pocos meses.

observaciones en 1843. Los datos recogidos revelaban que la evolución del número de grupos de manchas presentaba forma de onda. En 1828 se registró un máximo de 225 grupos que descendieron a un mínimo de 33 en 1833. A partir de entonces, se experimenta un nuevo aumento, que llegará a 333 grupos en 1837 para disminuir hasta un mínimo de 34 en 1843. Esta diferencia entre los máximos y los mínimos se registró aproximadamente cada cinco años, de modo que el ciclo completo duraba una década. Era obvio que el Sol danzaba al ritmo de alguna especie de metrónomo interior acompasado con su propio ritmo de estrella.

Las revelaciones de Schwabe despertaron gran interés por las manchas solares. La acumulación de registros solares de mayor duración permitió que los científicos fueran mejorando los cálculos de Schwabe; hoy en día se acepta que el ciclo de las manchas solares tiene una duración media de 11,2 años. Los astrónomos han demostrado que las manchas son zonas de intensa actividad magnética y que el color oscuro proviene del contraste de temperaturas. En efecto, la temperatura de las mismas es unos 2.000 ºC inferior a la de los candentes gases circundantes, con valores de 6.000 ºC.

Entre los estudiosos del Sol posteriores a Schwabe se cuenta Richard Christopher Carrington, acaudalado joven británico que dedicó ocho años a trazar un mapa de las manchas solares en un observatorio privado de Surrey. Sus esfuerzos fueron recompensados con nuevas leyes sobre la distribución de las manchas y la rotación solares. Pero su descubrimiento más importante le habría de llevar apenas un instante. En efecto, eran las 11:18 del 1 de setiembre de 1859 cuando observó una tremenda erupción en la superficie del Sol. De esta manera lo explicó más tarde: «De pronto aparecieron dos zonas

muy brillantes y de luz blanca muy intensa. De inmediato anoté la hora exacta; al ver que la erupción aumentaba velozmente y como estaba algo nervioso por la sorpresa, en seguida fui a buscar a alguien para que viera el fenómeno conmigo. Pero al volver, pasados 60 segundos, descubrí, decepcionado, que había cambiado mucho y se había debilitado. Continué observándolo durante una hora después de que hubieran desaparecido sus últimos rastros, pero ya no se volvió a repetir.»

Carrington fue el primero que observó y describió una fulguración solar. Al día siguiente ocurrieron en todo el mundo una serie de hechos extraordinarios, que, en opinión de Carrington, podían estar relacionados con su descubrimiento. A las cuatro de la madrugada aparecieron corrientes eléctricas inducidas en las líneas telegráficas, gracias a las cuales se pudo transmitir sin baterías. Esa misma noche, la aurora boreal iluminó los cielos de Europa y América hasta latitudes más al sur de lo habitual: fue vista en Kansas y también en Honolulú, a sólo 21º de latitud norte. La tormenta magnética fue también percibida en el hemisferio sur.

Con la debida cautela de todo científico, Carrington no quiso afirmar que había una relación de causa-efecto entre la fulguración solar y los extraños fenómenos ocurridos en la Tierra. «Una golondrina no hace primavera», afirmó. Sin embargo, el fenómeno descrito fue una de las demostraciones más elocuentes de que se tenga noticia sobre la posible relación entre la violenta actividad solar y sucesos en la Tierra.

Desde entonces, la Tierra habría de experimentar periódicas fulguraciones solares. Pero para observarlas con todo detalle y explicarlas, los científicos debieron esperar la puesta en órbita de naves espaciales provistas de telescopio de rayos X y otros instrumentos de la era espacial.

Igual que las manchas, las fulguraciones están relacionadas con regiones magnéticamente activas de la superficie solar. En una fulguración, la energía suele acumularse en un bucle magnético, cuya inestabilidad en aumento provoca finalmente su erupción. Este estallido lanza al espacio rayos X y rayos gamma intensos y partículas de alta energía que, al alcanzar la Tierra, perturban su campo magnético y desencadenan tormentas geomagnéticas. Esta lluvia de partículas produce la inducción de corrientes en las líneas de tendido eléctrico y en los oleoductos. Los cambios de voltaje pueden interrumpir el transporte de energía eléctrica a larga distancia, dañar las instalaciones de electricidad y afectar los radares. Además, pueden perturbar las capas superiores de la atmósfera, con la consiguiente alteración de las transmisiones de onda corta y cortes en las comunicaciones de radio. Pero no sólo la tecnología sufre los efectos de las fulguraciones. En una ocasión, una tormenta magnética desorientó a las palomas mensajeras que participaban en una carrera al aniquilar su sentido de la orientación.

Las partículas de una fulguración explican, además, el espectacular aumento de la aurora boreal. Las auroras se deben a la energía eléctrica producida por la interacción del campo magnético de la Tierra y del Sol. Este último se desplaza con la corriente de partículas energéticas llamada viento solar, viento que castiga la Tierra con partículas de alta energía cuando se produce una fulguración. La intensa corriente inducida en el campo magnético de la Tierra excita los átomos de la atmósfera superior, que emiten luz de determinados colores: verde los de oxígeno, carmesí los de nitrógeno. Las tormentas magnéticas de mucha intensidad distorsionan el campo magnético terrestre y hacen que las auroras se extiendan hasta latitudes más bajas desde donde, normalmente, no pueden ser observadas.

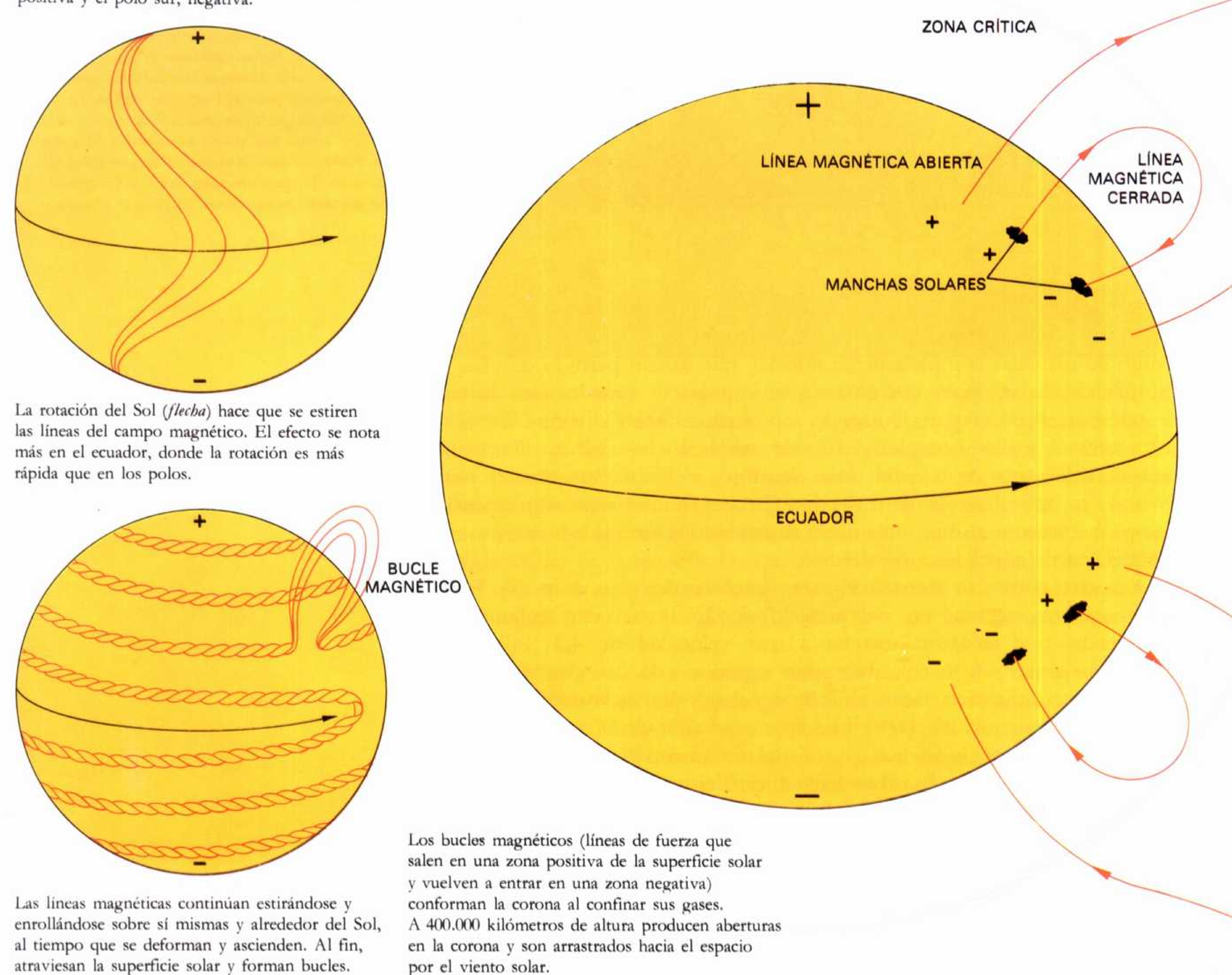
Líneas de fuerza invisibles

Las manchas solares y otros fenómenos del astro demuestran la existencia de un campo magnético, debido, al parecer, a las corrientes eléctricas que circulan en el tercio exterior de la esfera solar.

La rotación del astro configura el campo magnético. Puesto que el Sol gira más deprisa en el ecuador que en los polos, las líneas de fuerza magnéticas se estiran como gomas elásticas, distorsionándose lateralmente en relación con su trazado original interpolar. Al mismo tiempo, las líneas siguen los movimientos ascendentes y descendentes de las corrientes de gases calientes, que las deforman y entrelazan.

Al alargarse y deformarse, el campo magnético aumenta su fuerza; las líneas magnéticas comprimen los gases que circulan entre ellas y ascienden hacia la superficie. Ahí se acumulan, forman manchas solares y liberan energía en forma de fulguraciones y erupciones.

La variada actividad solar alcanza un máximo cada 11 años. Las líneas magnéticas empiezan entonces a desenrollarse y el astro vuelve al estado de magnetismo y actividad mínimos.

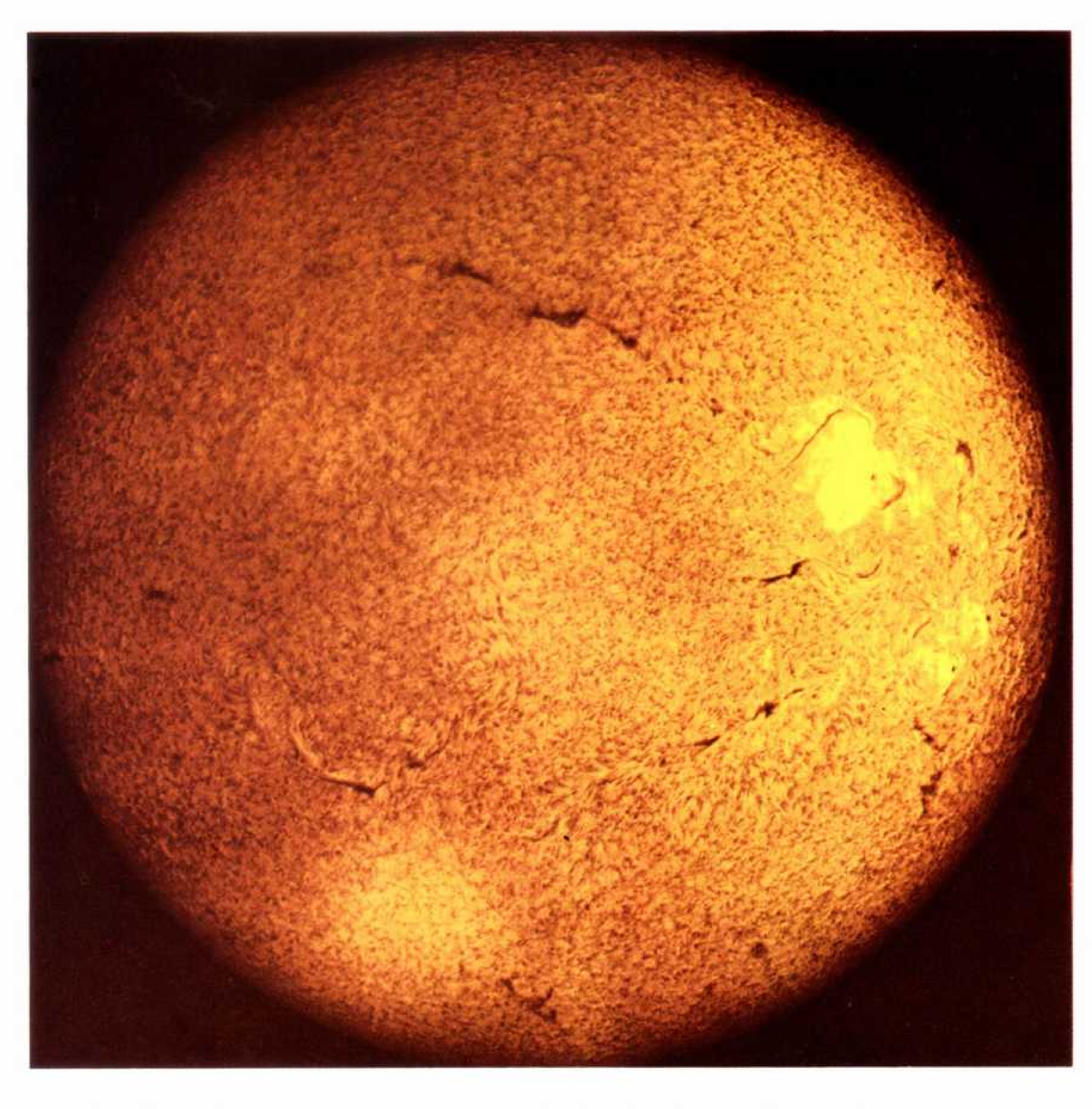


En los comienzos del ciclo magnético solar, las líneas del campo magnético siguen los meridianos. El polo norte tiene polaridad positiva y el polo sur, negativa.

La rotación del Sol (*flecha*) hace que se estiren las líneas del campo magnético. El efecto se nota más en el ecuador, donde la rotación es más rápida que en los polos.

Las líneas magnéticas continúan estirándose y enrollándose sobre sí mismas y alrededor del Sol, al tiempo que se deforman y ascienden. Al fin, atraviesan la superficie solar y forman bucles.

Los bucles magnéticos (líneas de fuerza que salen en una zona positiva de la superficie solar y vuelven a entrar en una zona negativa) conforman la corona al confinar sus gases. A 400.000 kilómetros de altura producen aberturas en la corona y son arrastrados hacia el espacio por el viento solar.



La mancha brillante de la derecha es una de las mayores fulguraciones solares registradas. La fotografía fue hecha mediante un filtro especial que actúa sobre las rayas alfa del hidrógeno y permite aislar parte del espectro visible. La tremenda erupción sucedió el 7 de agosto de 1972 y cubrió una zona equivalente a 10 veces la Tierra; además, la corriente de partículas que desencadenó produjo apagones e interrupción de las telecomunicaciones en todo el planeta.

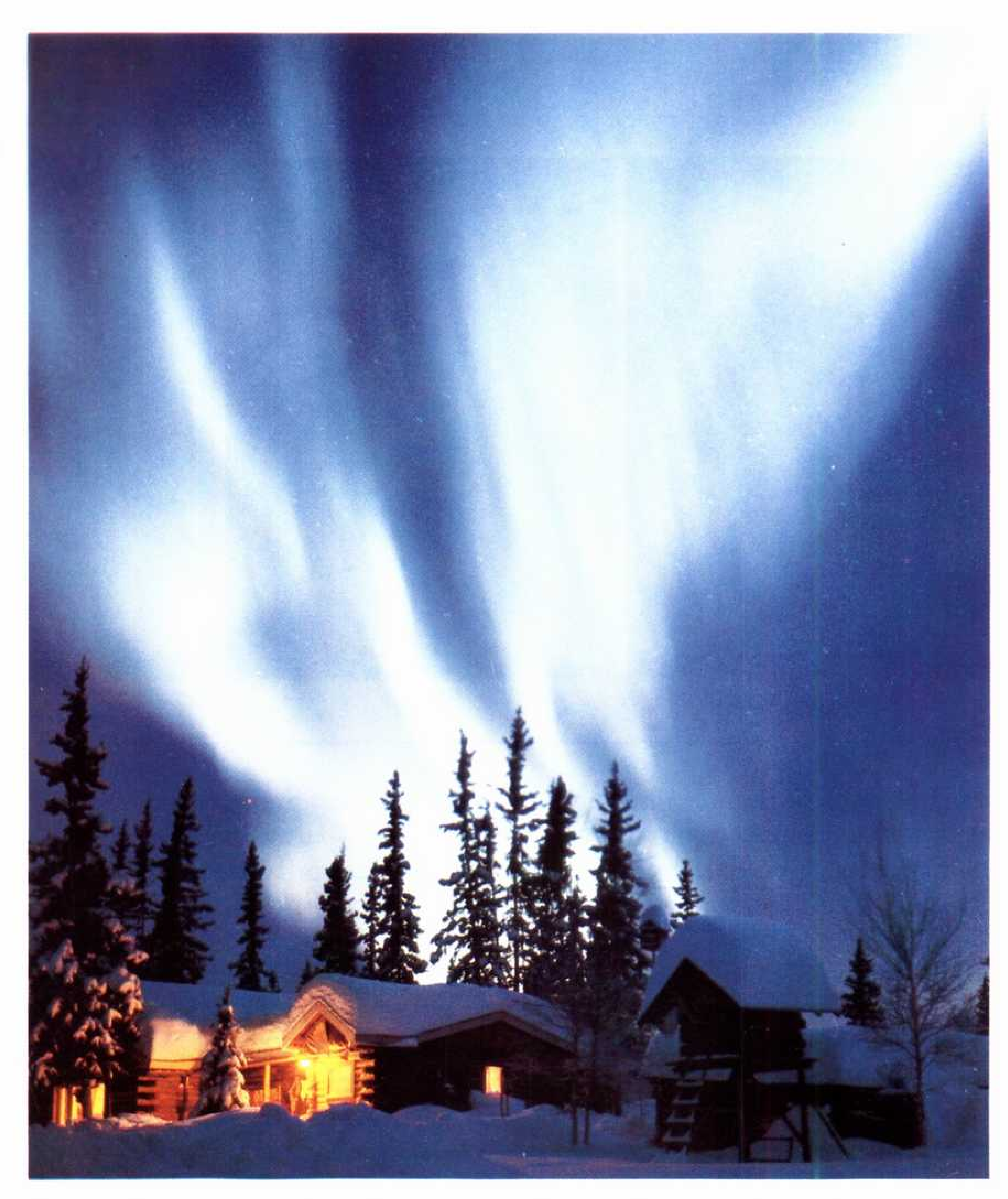
Gracias a los enormes recursos de la ciencia moderna, los astrónomos vigilan constantemente el Sol y, a menudo, pueden predecir el estallido de las fulguraciones y sus consiguientes tormentas magnéticas. La más importante y reciente ocurrió en agosto de 1972. Los astrónomos venían observando un grupo de manchas completamente normal, que habían perdido de vista por la rotación solar. Pero comenzaron a inquietarse cuando, dos semanas después, el grupo reapareció con un aspecto totalmente distinto. Tenía una estructura densa y compleja, dos de sus manchas habían aumentado considerablemente de tamaño. Los científicos del observatorio del monte Wilson se movilizaron de inmediato y, mediante sensores especiales, comprobaron con asombro que había aumentado la intensidad de los campos magnéticos de aquella región del Sol.

Los astrónomos se prepararon para presenciar una gran erupción. El 2 de agosto se registraron, en un período de 15 horas, tres fulguraciones gigantescas que lanzaron materia a una velocidad de 4,3 millones de kilómetros por hora, o sea, tres veces superior a la del viento solar. Las erupciones continuaron hasta el 7 de agosto, y las mayores fulguraciones llegaron a cubrir casi 200.000 kilómetros cuadrados de la superficie del Sol

Quien primero sintió los efectos del fenómeno fue la sonda espacial *Pioneer 9,* que se hallaba en órbita solar entre Venus y la Tierra. Treinta y tres horas después de la primera fulguración, la diminuta sonda atravesó una onda de choque interplanetaria. Los expertos en astronomía solar del Space Environment Services Center de Boulder, en Colorado, predijeron que, en la noche del 3 de agosto, la Tierra sería afectada por la primera de una serie de tormentas geomagnéticas.

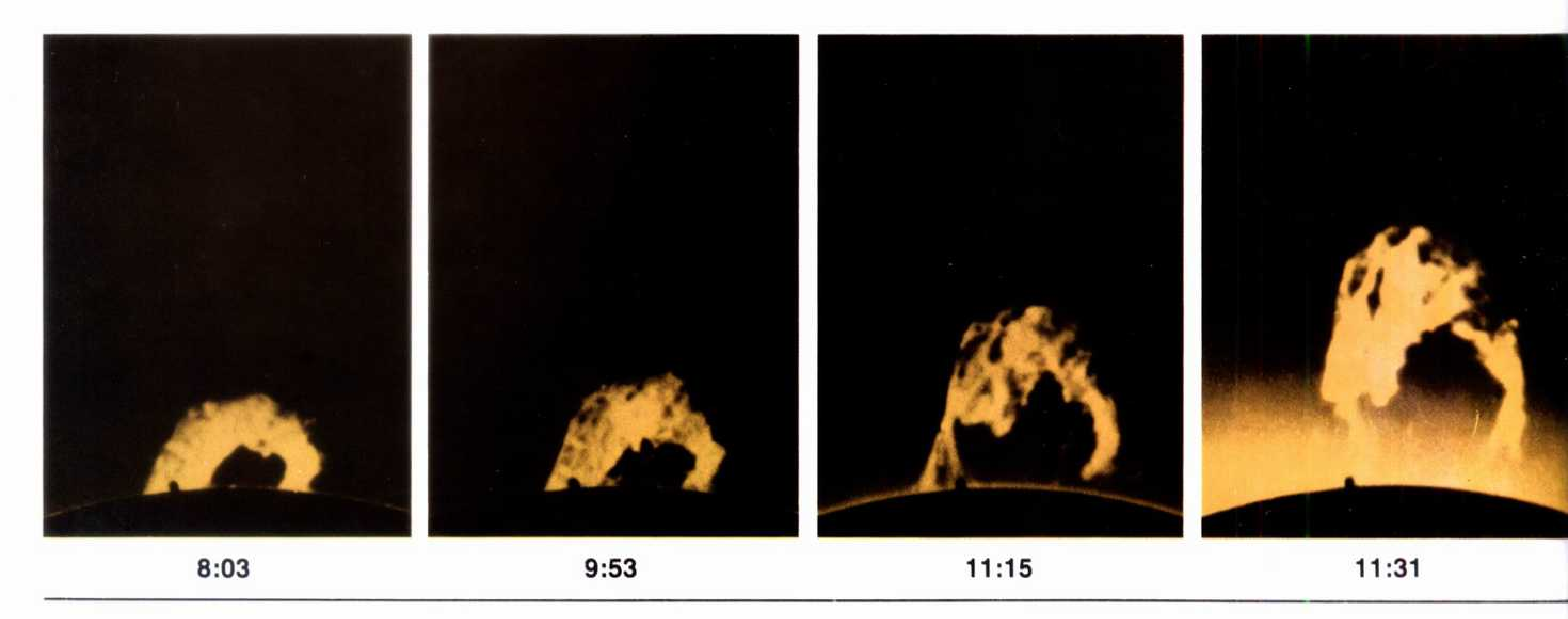
Durante las noches siguientes, en gran parte de América del Norte y Europa se presenció una brillante aurora. Las líneas eléctricas sufrieron

La aurora boreal aparece en forma de cortina brillante en el cielo de Fairbanks, Alaska. Las auroras boreal y austral se producen cuando el viento solar perturba el campo magnético de la Tierra, y la energía liberada hace brillar las capas superiores de la atmósfera cerca de los polos. El brillo y extensión de las auroras es mayor después de una fulguración solar intensa.



fuertes fluctuaciones de voltaje y, en Columbia Británica, Canadá, estalló un transformador de 230.000 voltios. La tormenta provocó cortocircuitos y dañó los filtros eléctricos de los sistemas telefónicos de larga distancia. La noticia apareció en la primera página de todos los periódicos del mundo. Un estudio científico posterior se referiría a estas tormentas como «acontecimientos geofísicos de importancia histórica». Sin embargo, fueron menos intensas que algunas del siglo pasado. Lo que ocurrió fue que se pudieron estudiar mejor y que, en la era de las redes de energía eléctrica y de las telecomunicaciones a escala mundial, sus efectos habían sido mucho más acusados.

Las fulguraciones no son las únicas que producen oleadas de viento solar. Las protuberancias (grandes bucles de plasma o de gas caliente que llegan a elevarse hasta casi 500.000 kilómetros) pueden ocasionar efectos similares y no menos espectaculares. Hay dos clases de protuberancias: inactivas y activas. Las primeras tienen aspecto de arcos brillantes situados en el borde del Sol o de filamentos festoneados que se extienden hasta 200.000 kilómetros a través del disco solar. Duran algunos días o muchos meses, pero es raro que ocasionen efectos electromagnéticos en la Tierra. Por otra parte, las protuberancias activas tienen apenas unas horas de vida, pueden ser lanzadas al espacio a velocidades de hasta cuatro millones de kilómetros por hora y suelen dejar sentir sus efectos en la Tierra. Las protuberancias de ambas clases son más densas y frías que la corona solar o atmósfera exterior.



Una erupción continua de gases incandescentes forma una protuberancia. Esta secuencia fotográfica fue tomada entre las 8:03 y las 12:10 del 18 de agosto de 1980. La protuberancia crece y se desvanece en un período de cuatro horas. A veces, las protuberancias son más estables y duran hasta semanas o meses.

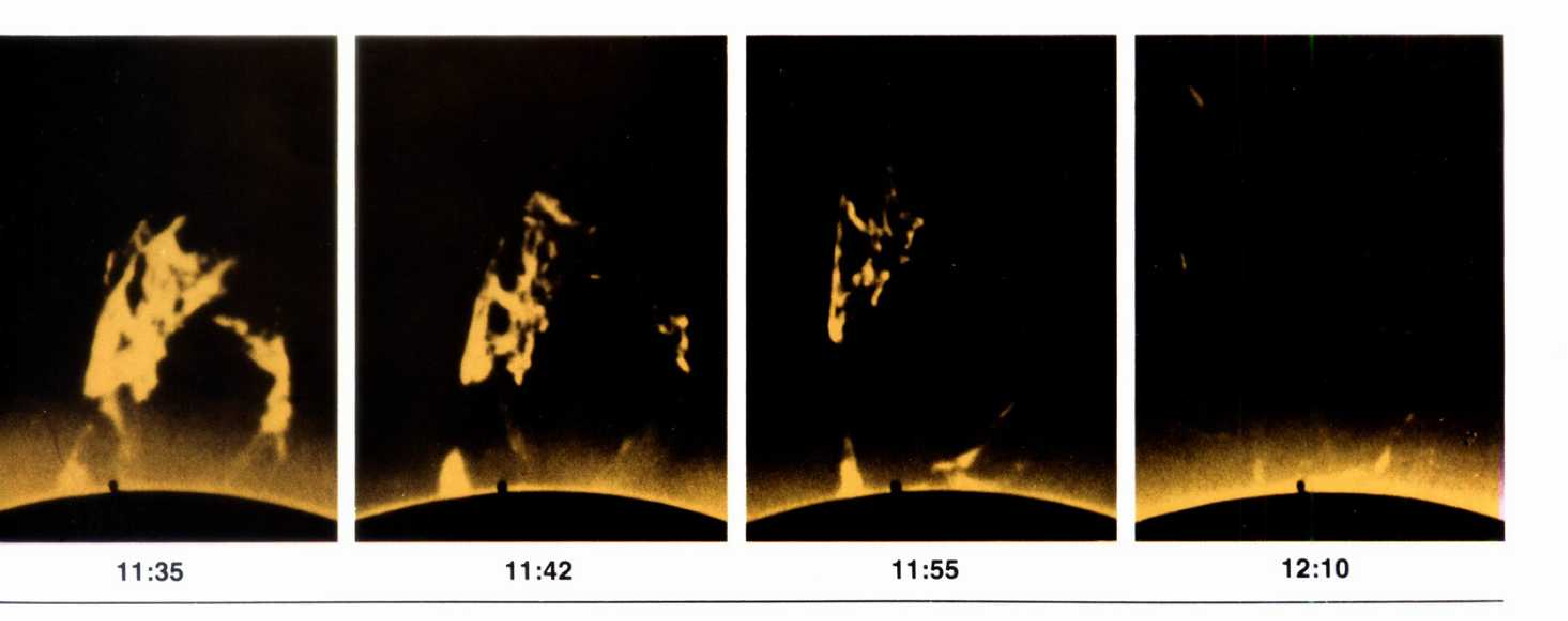
Las fulguraciones y las protuberancias activas pueden desencadenar enormes ondas de choque en la corona, que forman perturbaciones coronales pasajeras, en forma de bucles o burbujas magnéticas lanzadas por el Sol. Fueron observadas por vez primera el 14 de diciembre de 1971 por el satélite *OSO-7* y luego, en 1973, fotografiadas desde el *Skylab*.

El *Skylab* permitió también resolver el misterio sobre otras perturbaciones magnéticas que tenían un aparente origen solar. Se producían con intervalos de unos 27 días (el período de rotación del Sol según se aprecia desde la Tierra) y ocasionaban generalmente cortes de las comunicaciones por radio. Los científicos intuyeron que el origen de tales perturbaciones debía hallarse oculto en ciertas regiones activas que no suelen manifestarse de manera habitual, como las manchas, las fulguraciones y las protuberancias. En 1932, un geofísico acuñó la expresión «regiones M» para denominar estas zonas; la M posee doble significado: «magnéticas» y «misteriosas».

Durante 40 años, las regiones M desconcertaron a los científicos. Pero, en 1970, se halló una pista sobre su identidad. Las fotografías obtenidas durante un eclipse mostraban una discontinuidad oscura en la corona, zona esta que sólo puede verse durante los eclipses. Se sabía que la corona restringe en parte el flujo de partículas que constituyen el viento solar, por lo que era posible que la discontinuidad en ella pudiera inyectar en el viento solar un flujo intenso de partículas, que originaría una fortísima corriente en el espacio interplanetario.

A comienzos de la década de 1970, los científicos comenzaron el estudio de unas asombrosas fotografías de rayos X del Sol, gracias a lo cual consiguieron colocar una pieza fundamental del rompecabezas. Las imágenes habían sido tomadas por cohetes desde la alta atmósfera y mostraban lo que parecían ser orificios en la corona. Además, mediante magnetógrafos, instrumentos que registran la polaridad y fuerza de los campos magnéticos del Sol, se demostró que tales orificios funcionaban como ventanas de escape de las líneas de fuerza magnética del astro.

En 1973, el astrofísico estadounidense Allen S. Krieger confirmó esta hipótesis, para lo cual rastreó hasta su fuente en el Sol una corriente de partículas de alta velocidad que bombardeaban la Tierra. Así, Krieger demostró que las partículas procedían de un orificio de la corona.



Entretanto, la misión *Skylab* comenzó a reunir y ordenar una extraordinaria cantidad de datos obtenidos mediante rayos X sobre los orificios de la corona y otros fenómenos solares, fruto de nueve meses de estudios. En dicho período, las sucesivas tripulaciones emplearon el 30 por ciento de su tiempo en observar el Sol desde el tablero de mandos del ATM (Apollo Telescope Mount) de la nave. Obsesionados por el enorme disco solar que se dibujaba en las pantallas de televisión, los astronautas habrían dedicado muchas más horas a observarlo si el mando de la misión lo hubiera autorizado. Según la longitud de onda que se empleaba, la superficie granular del Sol se veía más nítida.

Los datos obtenidos por el *Skylab* permitieron resolver el misterio de las regiones M. Se demostró que había una correlación íntima entre los orificios de la corona y los fenómenos magnéticos registrados en los instrumentos terrestres. Las regiones M son discontinuidades de la corona, compuertas por donde pasa la corriente de partículas solares que baña la Tierra.

No obstante, este descubrimiento no zanjó la antigua controversia sobre las fluctuaciones de la cantidad de energía solar que incide sobre nuestro planeta. ¿Existía, en realidad, la muy discutida «constante solar» o, por el contrario, la producción de energía solar era irregular? La cuestión rebasaba los límites meramente científicos, pues, incluso mínimas fluctuaciones de energía podrían, con el tiempo, causar efectos catastróficos sobre el clima y la producción de alimentos de la Tierra.

Un científico de la Smithsonian Institution de Washington se dedicó durante buena parte del siglo XX a demostrar que la constante solar era, en realidad, «inconstante», o sea, que el Sol era una «estrella variable» cuya producción de energía cambiaba según ciclos previsibles, aunque menos evidentes que los de otras estrellas. Según Charles Greeley Abbot, la cantidad de energía solar que llegaba a la Tierra era variable, y esto tenía efectos demostrables sobre el clima. En 1902, este científico comenzó a recoger datos sistemáticos sobre la radiación solar en estaciones de los cuatro continentes. Continuó trabajando hasta 1953 y registró variaciones del 0,1 al 1 por ciento de la energía solar que llega a la Tierra. Dichos valores concordaban con los cálculos de los climatólogos, para los que una variación de la constante solar de un 0,5 por ciento puede modificar las características del clima terrestre.

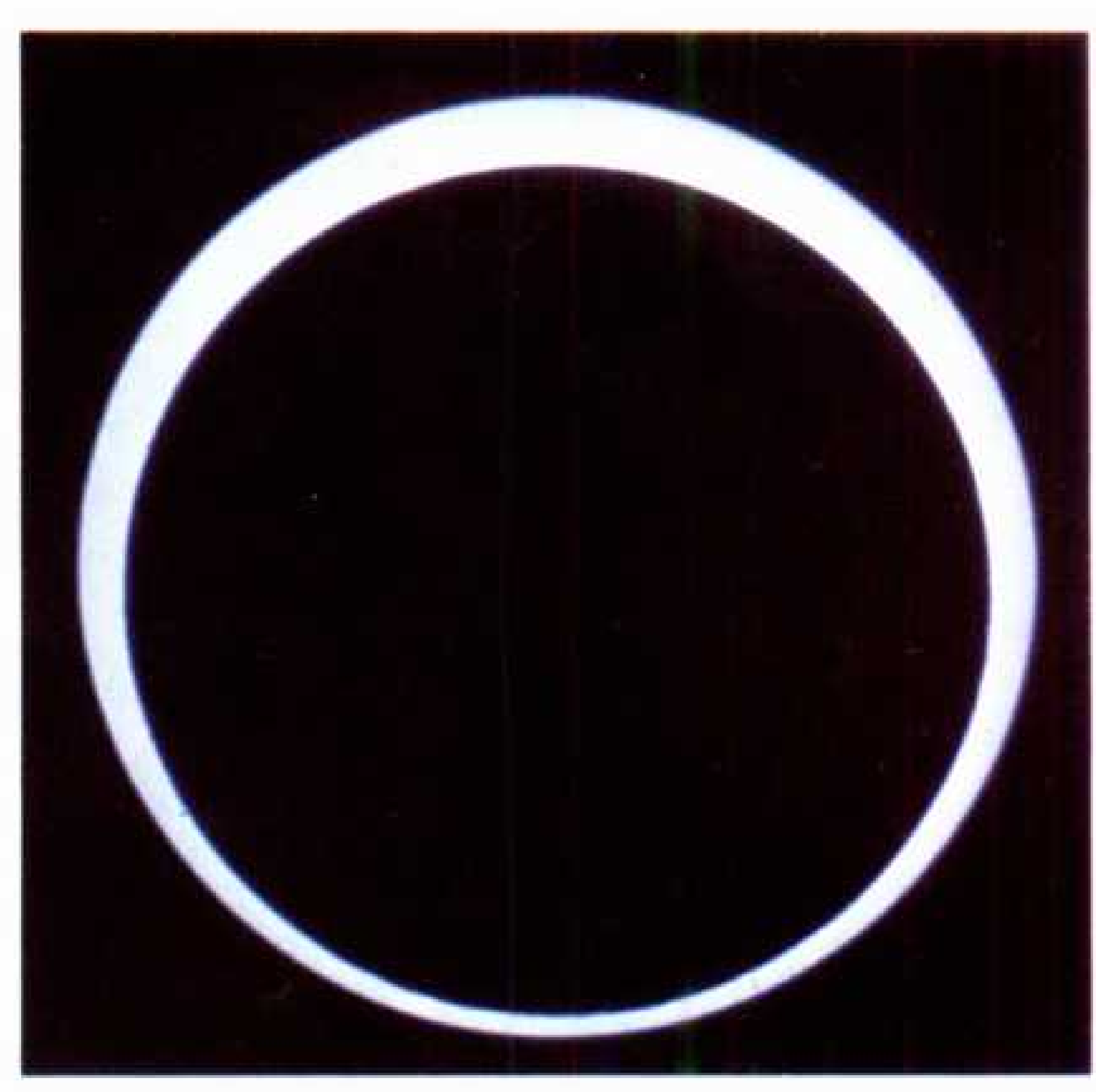
A la sombra de la Luna

La mitología atribuye los eclipses de Sol y de Luna a la furia de los dioses y a la voracidad de los dragones. Pero sólo son una de las muchas curiosidades de la naturaleza. Un eclipse ocurre cuando la Tierra, la Luna y el Sol están alineados, pero sólo si la Tierra o la Luna se interpone entre los otros dos. Las tres clases de eclipse se explican en los esquemas inferiores.

El más espectacular de los tres es el eclipse total de Sol. El radio del Sol es 400 veces mayor que el de la Luna, la cual, para tapar el disco solar, debe pasar cerca de la Tierra. Cuando se logra la alineación correcta, se observa un eclipse parcial de Luna, desde dentro de la zona de penumbra de ésta. Desde la zona de sombra o sombra principal, el disco solar queda completamente oculto durante unos momentos.



En el transcurso de un eclipse de Luna, nuestro satélite es iluminado por rayos solares que sufren una desviación al pasar a través de la atmósfera de la Tierra.

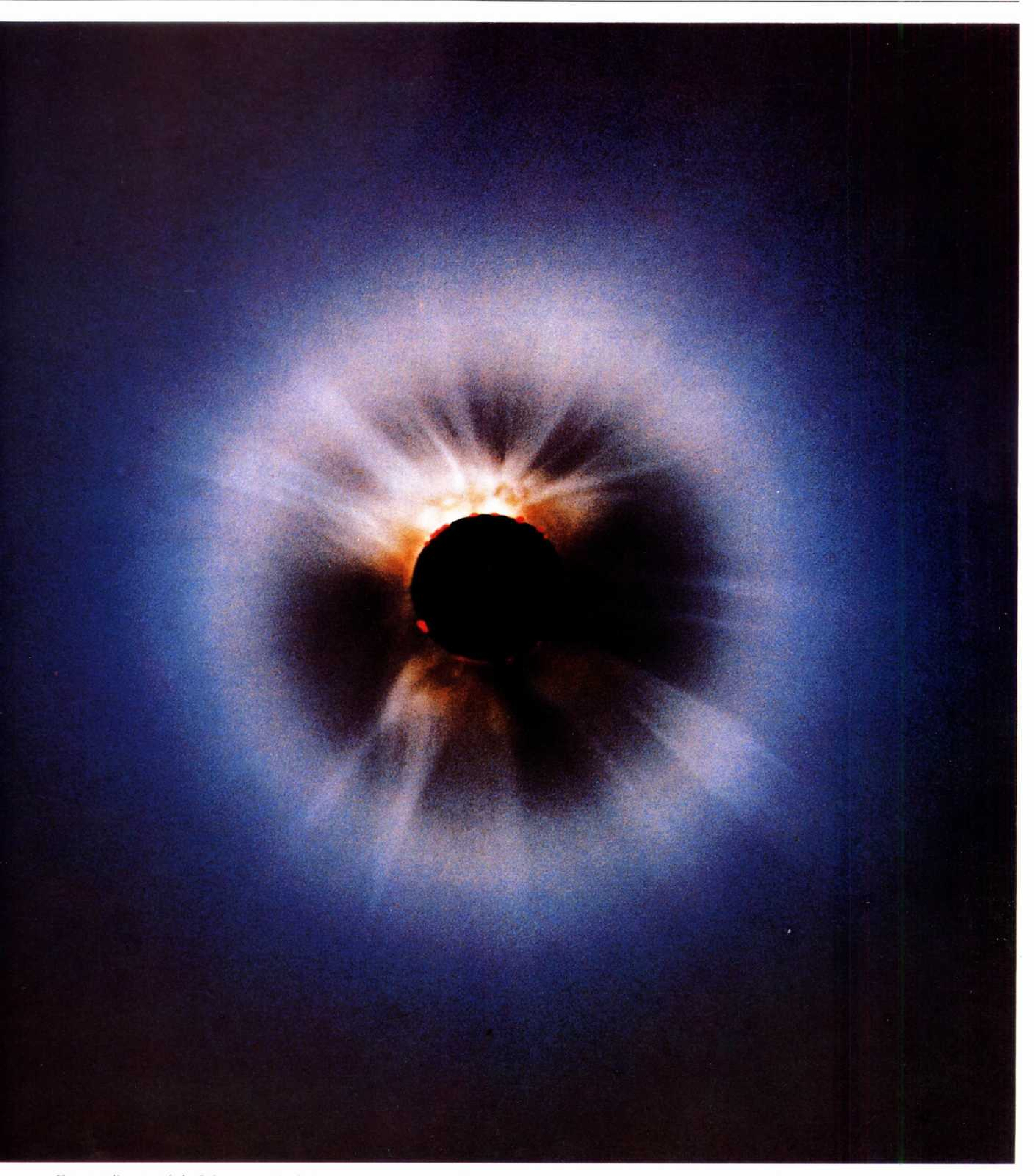


Durante un eclipse anular de Sol, la Luna es rodeada por un halo solar. En ese caso la Luna está demasiado lejos de la Tierra para ocultar completamente el Sol.

ECLIPSE DE LUNA
Este eclipse comienza cuando la Luna llena entra en la zona de penumbra de la Tierra, o de sombra parcial, pasa luego por la zona de sombra, o sombra principal y sale por la otra zona de penumbra al cabo de una hora y 45 minutos. Este eclipse es el más corriente, ya que puede observarse desde todo un hemisferio.

ECLIPSE ANULAR DE SOL
Se produce cuando la Luna se interpone entre la Tierra y el Sol a una distancia suficientemente grande de la Tierra para que la sombra del satélite no pueda llegar al planeta. Este eclipse sólo se observa en la reducida zona delimitada por las líneas rojas. Desde cualquier punto situado en ambas zonas de penumbra se verá un eclipse parcial de Sol.

ECLIPSE TOTAL DE SOL
Este eclipse, que dura un máximo de ocho minutos, tiene lugar cuando la Luna se interpone entre el Sol y la Tierra a una distancia próxima a a ésta. Es el eclipse menos frecuente y sólo se observa en una pequeña zona del planeta, mientras que, en las adyacentes, se ve como eclipse parcial, y en el resto de la Tierra es invisible.



En un eclipse total de Sol se ven, alrededor de la Luna, las protuberancias solares rojas de gran alcance y el flujo brillante de la corona.

Sin embargo, la mayor parte de los estudiosos del Sol no estaban convencidos. Cuando Abbot murió en 1973 a los 101 años, sus colegas hicieron una nueva valoración de sus investigaciones y llegaron a la conclusión de que había atribuido una falsa exactitud a sus datos. El problema residía en calcular la radiación que se filtra por la atmósfera terrestre, habida cuenta de que su opacidad cambia de acuerdo con el estado del tiempo atmosférico y la época del año.

Pero, este asunto no habría de acabar así. Siete años después de la muerte de Abbot, la *Solar Maximum Mission* (satélite de la NASA que sucedía al *Skylab)* comenzó a obtener datos sobre la constante solar desde fuera de la atmósfera. En 1980, Richard C. Willson, del Jet Propulsion Laboratory, elaboró un informe sobre cinco meses de observaciones. Los datos del satélite señalaban que la emisión de energía solar fluctuaba casi a diario. La magnitud de los cambios solía ser pequeña, alrededor del 0,05 por ciento, pero había otras dos disminuciones mucho mayores, de un 0,2 por ciento.

Ambos mínimos se habían producido cuando un gran grupo de manchas solares atravesaba la parte central del disco solar, lo que daba a entender que obstruían parcialmente la radiación solar. Las observaciones continuaron durante el año siguiente y permitieron encontrar variaciones frecuentes en la producción de energía que en un solo caso representaba una disminución del 0,23 por ciento, el valor más alto registrado hasta entonces y que coincidía nuevamente con el paso de un gran grupo de manchas. Willson afirmó que, de alguna manera, las manchas impedían la radiación de energía de la superficie. De hecho, la disminución de la producción de energía correspondía exactamente a la energía potencial de la zona de manchas. Entonces dedujo que la «energía perdida» queda almacenada durante varios meses y luego se dispersa por una región extensa.

Esta hipótesis levantó encendidas controversias entre los astrofísicos. Una explicación contraria sostenía que la energía perdida es radiada horizontalmente hasta cierta distancia de las manchas mediante unas zonas brillantes y magnéticamente activas llamadas fáculas.

Cualquiera que fuera la causa, no había dudas sobre la existencia de fluctuaciones de energía. Además de los cambios menores que duraban días o algunas semanas, los datos revelaban que la producción de energía había disminuido cerca de un 0,1 por ciento durante los dieciocho meses de la misión, después de lo cual había empezado a producirse un nuevo aumento. La *Solar Maximum Mission* había probado de manera irrefutable que la constante solar, después de todo, no es constante. Así se reivindicaba a Charles Greeley Abbot, quien había dedicado toda su vida a demostrar que, en un sentido estricto, el Sol es una estrella variable.

A mediados del siglo XIX, la composición del Sol era aún materia de especulaciones sin fundamento; una corriente de filósofos empiristas afirmaba que esta cuestión iba más allá de los límites lógicos de la ciencia. Pero ocurrió entonces que dos científicos alemanes revolucionaron la astronomía al inventar el espectroscopio, instrumento que les permitió descifrar la clave del espectro solar y conocer la constitución química de las estrellas.

El químico Robert Bunsen, que dio su nombre al mechero empleado en los laboratorios, y el físico Gustav Kirchhoff empezaron a trabajar juntos en 1854. Descubrieron que todo elemento, cuando se calienta hasta la incandescencia y se difracta su luz en un espectro, tiene una «firma» característica. El sodio puro, por ejemplo, muestra una doble raya de color amarillo claro.

Con el próximo número:

EXPLORANDO OTROS PLANETAS

¿Estamos solos en el Universo? ¿O por el contrario existen otros sistemas planetarios dotados de condiciones para la vida, tal como nosotros la entendemos? Desde tiempo inmemorial éstas son las preguntas que surgen espontáneamente cada vez que el hombre levanta la mirada hacia las estrellas.

